

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ МАШИН, СПОРУД І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ, ІНСТРУМЕНТІВ ТА МАШИН

ЯКИМЕЦЬ ГРИГОРІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 621.9

Дослідження динамічних характеристик елементів коробки швидкостей
гідрокопірувального токарного верстата на основі твердотілого моделювання

133 Галузеве машинобудування

Автореферат
дипломної роботи магістра

Тернопіль 2018

Роботу виконано на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання верстатів, інструментів та машин
Гагалюк Андрій Валерійович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування
Паливода Юрій Євгенович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 23 лютого 2018 р. о 9⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії №10 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №4, ауд. В1

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

а) Актуальність теми роботи.

Точіння є одним з найпоширеніших видів, як чорнової, напівчистої та чистої видів обробки. Верстати токарної групи складають 85% від усього верстатного парку. Серед токарної групи частка напівавтоматів, верстатів з ЧПК або модернізованих верстатів оснащених ЧПК зростає. Піддаються модернізації або заміні всі основні вузли верстату, доставляють сервоприводи, швидкісні шпинделі з безступеневим регулюванням тощо.

Також слід зауважити, що глобальної модернізації верстату не проводять, так як це економічно не вигідно. У переважній більшості малих підприємств модернізація зводиться до поточного ремонту й встановлення системи ЧПК. А коробку швидкостей залишають оскільки це значно здешевлює модернізацію. У всіх токарних верстатах коробка швидкостей взаємодіє з шпинделем через зубчасте зачеплення через яке передається крутний момент. Всі неточності складання або виконання передаються на шпиндель. Шпиндель – основна і сама відповідальна деталь верстата.

Актуальність роботи визначається необхідністю проведення практичних розрахунків і проектування різноманітних вузлів верстатного обладнання, що дає змогу оцінити поведінку об'єкту ще на стадії конструювання. Також оцінити вплив рухомих частин коробки швидкостей на точність обертання шпинделя та вплив на жорсткість системи ВПІД. Це дозволить виявити слабкі місця конструкції загалом а ефективніше використовувати конструкційний матеріал.

б) Мета і завдання.

Метою роботи є 3D моделювання коробки швидкостей верстата 1740РФЗ з дослідженням в сучасних засобах САПР задля отримання автоматизованого розрахунку напружено-деформованого стану. Ефективність даного методу проектування доведена, проте певні верстати були спроектовані без потужних САПР хоча надійно працюють до цього часу. Конструктори

Для досягнення цієї мети у роботі вирішено наступні задачі:

- Створити 3D-модель елементів коробки швидкостей;
- провести складання елементів з точним спряженням всіх елементів;
- Провести розрахунок коробки швидкостей методом кінцевих елементів;
- Отримати графіки.

с) Об'єкт, методи та джерела дослідження.

d) Об'єкт дослідження – коробка швидкостей верстата 1740РФЗ.

е) Предмет дослідження – динамічні процеси в коробці швидкостей верстата 1740РФЗ.

Методи дослідження. В основу роботи покладено теоретичні і практичні дослідження обертальних математичних моделей верстатів на основі інформаційних даних отриманих завдяки 3D-моделюванню з подальшим отриманням графіків.

ф) Наукова новизна отриманих результатів.

доведено можливість використання 3D-моделювання при проектуванні будь-яких вузлів та конструкцій.

г) Практичне значення отриманих результатів.

Результати проведених досліджень та інженерного розрахунку можна використати для аналізу поведінки конструкцій верстату

h) Апробація.

Результати досліджень за тематикою магістерської роботи доповідались IX Всеукраїнській студентській науково – технічній конференції (Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 20-21 квітня 2016 р.) і опубліковані в збірнику:

Якимець Г. Дослідження точності кінематичних ланцюгів подач токарних верстатів у імовірносному аспекті / Якимець Г., Михалчич Г. // Матеріали IX Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 20-21 квітня 2016 року — Т. : ТНТУ, 2016 – Том 1. – С. 174-175. – (Секція: Машинобудування). - Т. 1. - 245 с. – С. 174.

Гагалюк А. В. Порівняння процесу виконання операції «видавлювання» в Autodesk Inventor та Компас 3D / А. В. Гагалюк, Г. С. Якимець // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. – Т. : ТНТУ, 2017. – Том I. – С. 65–66. – (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).

2. Структура роботи. Робота складається із вступу, 9 розділів, висновків, списку літератури (26 найменувань), ____ додатків.

Загальний обсяг текстової частини – 1____ сторінок, ____ таблиць, 30 рисунків.

3. ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

а) У **Вступі** означено актуальність теми магістерської роботи, визначено мету роботи, а також сформульовано завдання, які необхідно виконати для досягнення поставленої мети та комплексного наповнення дипломної роботи магістра.

б) **Перший "АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ"** описує попередньо проведені наукові теоретичні та практичні дослідження за дослідною тематикою магістерської роботи. Огляд та аналіз цих досліджень дозволив зробити наступні висновки: крім зовнішніх факторів, які виникають в процесі обробки, є ще й внутрішні, які можуть бути зумовлені недосконалістю конструкції або неточністю виготовлення; очікувані похибки можуть мати випадковий характер і не завжди їх можна передбачити; на даному етапі похибкою встановлення деталі можна знехтувати; оптимальним буде врахування похибок переміщення вузлів верстата; в процесі проектування неможливо врахувати всі фактори; Велика частка верстатів спроектована досить давно, коли твердотіле моделювання було недоступно.

с) У другому розділі **"ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ І ОПТИМІЗАЦІЯ ЙОГО КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ"** проведено аналіз конструкторсько-технологічних особливостей однієї із деталей, яку обробляють на досліджуваному верстаті, проведені технологічні розрахунки, здійснено аналіз

формоутворюючих схем, які реалізуються на цьому верстаті при виготовленні цієї деталі. Сформовано структурно-кінематичну схему досліджуваного верстата. Приділено увагу аналізу компоновок верстатного обладнання подібного типу. Обґрунтовано обрання найбільш раціонального варіанту компоновки верстата для обраного типу верстатного обладнання.

d) У третьому розділі **"ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ НА РОЗРОБКУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК"** здійснено комплекс технологічних розрахунків щодо аналізу точності механічної обробки при раціональному підборі системи базування деталі та оптимального проектування раціонального варіанту технологічного процесу механічної обробки деталі-представника. Розраховано режими різання на різні операції механічної обробки, які є вихідними даними для розробки наступного розділу дипломної роботи.

e) Четвертий розділ **"ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ"** включає необхідний комплекс проектних розрахунків, які пов'язані із розробкою кінематичного ланцюга приводу головного руху верстата, детальним проектним розрахунком елементів конструкції ШВ верстата.

f) У п'ятому розділі **"НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ"** проведено математичне моделювання обертових елементів коробки швидкостей з отриманням графіків. Значна увага приділена 3D моделюванню конструктивних елементів верстата з подальшим дослідженням іншими математичними методами.

g) Шостий розділ **"СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ (комп'ютерні розрахунки та автоматизоване проектування)"** містить дані про проектування коробки передач, зубчастих коліс, моделювання напружено – деформованого стану з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

h) Сьомий розділ **"ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ"** містить алгоритм економічних розрахунків, які доводять економічну ефективність прийнятих технічних впроваджень. Розрахунковий економічний ефект становить 3794581 грн. на рік.

i) Восьмий розділ **"ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ"** містить інструкцію з техніки безпеки при роботі на токарному напівавтоматі 1740РФЗ. Загальні вимоги охорони праці, вимоги охорони праці під час роботи, проведення планування заходів ЦО на об'єктах господарської діяльності у випадку НС. Основні положення планування.

j) Дев'ятий розділ **"ЕКОЛОГІЯ"** описує актуальність охорони навколишнього середовища, забруднення довкілля, яке виникає внаслідок реалізації дипломного проекту та заходи по зменшенню забруднення.

4. ВИСНОВКИ

1. Крім зовнішніх факторів, які виникають в процесі обробки, є ще й внутрішні, які можуть бути зумовлені недосконалістю конструкції або неточністю виготовлення;

2. очікувані похибки можуть мати випадковий характер і не завжди їх можна передбачити;
3. на даному етапі похибкою встановлення деталі можна знехтувати;
4. оптимальним буде врахування похибок переміщення вузлів верстата;
5. в процесі проектування неможливо врахувати всі фактори;
6. Велика частка верстатів спроектована досить давно, коли твердотіле моделювання було недоступно.
7. Розрахунковий економічний ефект від проведених організаційних та технологічних змін передбачається в розмірі 3794581 грн. на рік

1. ПЕРЕЛІК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

1. Технологія обробки на верстатах з ЧПК [Текст]: навч. посіб. для студ. машинобуд. спец. вищ. техн. навч. закл. / Гевко Б. М. [та ін.]; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя, Каф. технології машинобуд. та автомобілів. - Т.: Крок, 2014. - 131 с.
2. Герасимчук Г.А. Розробка математичної моделі та дослідження складних профільних з'єднань у спеціальних пакетах комп'ютерного моделювання / Г.А. Герасимчук, Р.А. Склярів, В.В. Шанайда // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, - 2013. Випуск №42. – С.75-80.
3. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах : монографія / Ю.М. Кузнецов [та ін.]. - Київ : [Тернограф], 2011. Тернопіль : - 690 с.
4. Луців І.В. Теорія технічних систем / Ю. М. Кузнецов, Ю. К. Новосьолов, І. В. Луців – Севастополь: СевНТУ, 2011. – 246 с.
5. В. В. Солоха, В. С. Ліліченко, М. В. Фролов. Зниження впливу теплових деформацій на точність обробки на токарних верстатах / В. В. Солоха, В. С. Ліліченко, М. В. Фролов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні №2, 2011. – С. 69-72.
6. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках/ Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
7. Кривий П.Д. Трудомісткість конструювання та виготовлення металорізальних і деревообробних верстатів: Навчальний посібник/ Кривий П.Д., Шарик М.В., Сотник І.П. – Тернопіль: ТДТУ, 2005. – 128 с.
8. Шевченко О. В. Підвищення точності обробки на токарних автоматизованих верстатах шляхом мікрорегулювання положення різця / О. В. Шевченко, Т. Г. Гримуд // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування: збірник наукових праць. - 2010. - № 59. - С. 59-64. с
9. Федотьев А. М. Шляхи підвищення точності обробки на прецизійних верстатах за рахунок стабілізації термічних деформацій. / А. М. Федотьев, А. В. Філіпов // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 6/2007 (47). Частина 1 «Нові технології в машинобудуванні», с. 78-81.
10. Гусев А. П. 5. Поняття точності обробки // Основи технологій виробництва і ремонт автомобілів. Технологічні основи машинобудування: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lib.lntu.info/book/mbf/auto/2010/10-138/page6.html>.

- 11.Токарно-фрезерні центри як шлях підвищення гнучкості обладнання / Тези доповідей загальноуніверситетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. Секція "Машинобудування", підсекції "Конструювання верстатів та машин" і "Інтелектуальна власність"/ Укладач Кравець О.М. – К: НТУУ "КПІ", 2015. – 113 с.
- 12.Якимець Г. Дослідження точності кінематичних ланцюгів подач токарних верстатів у імовірносному аспекті / Якимець Г., Михалчич Г. // Матеріали ІХ Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“, 20-21 квітня 2016 року — Т. : ТНТУ, 2016 – Том 1. – С. 174-175. – (Секція: Машинобудування).
- 13.Гагалюк А. В. Порівняння процесу виконання операції «видавлювання» в Autodesk Inventor та Компас 3D / А. В. Гагалюк, Г. С. Якимець // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 16-17 листопада 2017 року. – Т. : ТНТУ, 2017. – Том І. – С. 65–66. – (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).
- 14.Орликов М.Л. Динамика станков:Учебное пособие для вузов .-2-е изд., переработанное и дополненное .-К.:Вища школа,1989 .-272 с.Испытания и исследования металлорежущих станков : методические указания к лабораторным работам / сост. Ю. В. Кирилин. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 48 с.
- 15.Кудинов В.А. Динамика станков .-М.:Машиностроение,1967 .-360 с.
- 16.Спирин В. А. Методология комплексного расчёта точности обработки для токарных станков с ЧПУ / В. А. Спирин, М. А. Красильников, А. А. Михайлов. // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, металловедение. – 2012. – №2. С. 77 – 89.
- 17.Перелік параметрів, що характеризують геометричну та кінематичну точність верстатів відповідного типу, методи їх перевірки та допустимі відхилення параметрів регламентовані відповідними стандартами: ДЕРЖСТАНДАРТ 22267-76 – «Верстати металорізальні.
- 18.Утенков В. М. Прогнозирование потери точности металлорежущих станков // Наука и образование. Электронное издание: [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/574593.html>.
- 19.Svoboda O., Bach P., Liotto G., Wang C. Machine Tool 3D Volumetric Positioning Error Measurement under Various Thermal Conditions // Proceeding of the ISPMM 2006 Conference. Urumgi, Xinjiang, China, August 2-6, 2006.
- 20.Kaiji Sato. Trend of precision positioning technology // ABCM Symposium Series in Mechatronics. 2006. Vol. 2. P. 739-750.
- 21.Schmitz T.L., Ziegert J.C., Zapata R., Canning J.S. Part Accuracy in High-Speed Machining: Preliminary Results // Proceedings of MSEC2006. 2006 ASME International Conference on Manufacturing Science and Engineering (October 8-11, 2006). Ypsilanti, MI. 2006. P. 1-8.

22. Zhang H., Yang J., Shen J., Wang C. Measurement and compensation for volumetric positioning errors of CNC machine tools considering thermal effect // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2011. Vol. 55, no. 1-4. P. 275-283. DOI: 10.1007/s00170-010-3024-5
23. Кузнецов А.П. Тепловое поведение и точность металлорежущих станков. МГТУ Станкин; Янус-К, 2011. 256 с.
24. Проников А.С. Параметрическая надёжность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
25. Определение точности и динамических характеристик металлорежущих станков : методические указания к практическим занятиям / сост. Ю. В. Кирилин. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – 34 с.
26. Пестунов В. М. Підвищення точності обробки на металорізальних верстатах / В. М. Пестунов, М. В. Ткаченко, В.Ю. Шапошник // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету: Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація./ – вип. 25. ч. I. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – 430 с.

27. АНОТАЦІЇ

Якимець Г.С. Дослідження динамічних характеристик елементів коробки швидкостей гідрокопірувального токарного верстата на основі твердотілого моделювання. 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2018 р.

У дипломній роботі розглянуті питання, які пов'язані з аналізом технологічного процесу механічної обробки деталі, дослідженням формоутворення та розробкою оптимальної компоновальної схеми верстата. Виконано проектний розрахунок та розробку окремих вузлів верстата. Виконано 3D моделювання коробки швидкостей верстата мод. 1740РФ3. Реалізовано розрахунок математичної моделі обертової системи на елементах коробки швидкостей.

Ключові слова: коробка швидкостей, напружено-деформований стан, деформація, шпиндель, 3D- модель

Yakimets G.S "Study of dynamic characteristics of speed gearbox elements of a hydrocopying lathe based on solid body modelling." 133 - Sectoral engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2018.

In the thesis work examined issues related to the analysis of the process of machining parts, research of the forming moves and development of optimal layout scheme of the machine. Completed project calculation and design of individual units of the machine. Completed 3D modeling gearbox machine mod. 1740RF3. Key words: gear-box, deformation, spindel, thermal flows, 3d model